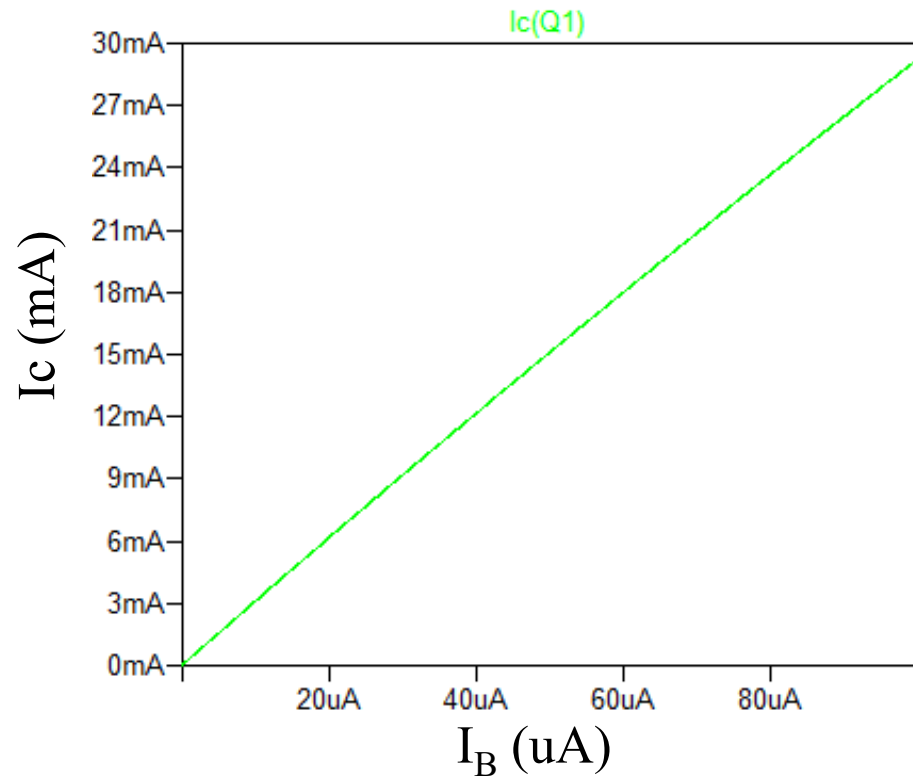
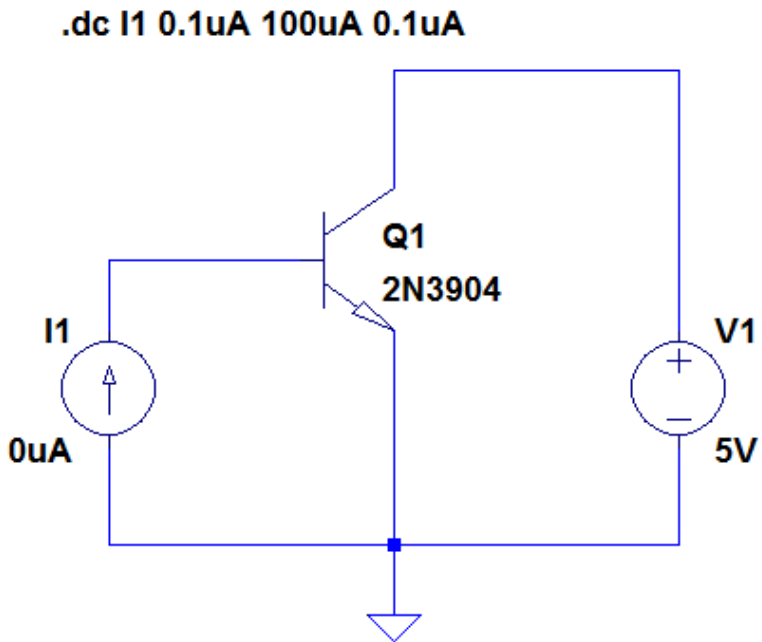


# 第3章 トランジスタの特性と機能

トランジスタのキャラクタリゼーション

## 3.1 トランジスタの特性解析

# $I_C$ - $I_B$ 特性



シミュレーション後にQ1のコレクタ付近をクリックして電流値をグラフに表示。

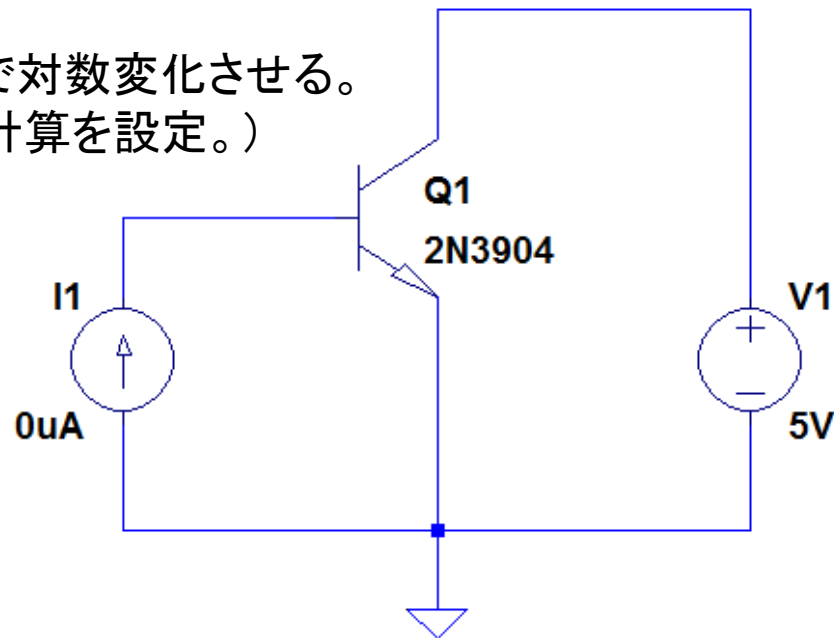
$I_C$ - $I_B$ 特性は完全な比例関係ではないので、 $h_{FE}$ も電流値によって変化すると予想される。

# $h_{FE} - I_C$ 特性の測定回路

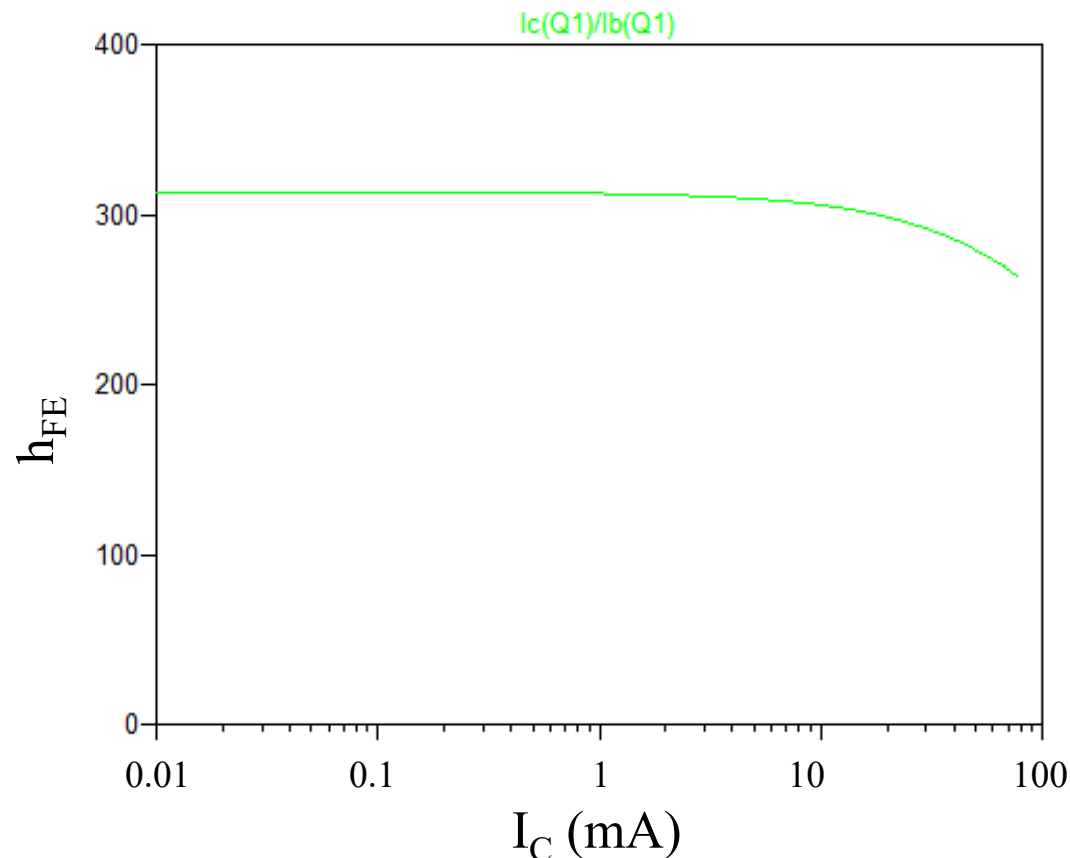
$h_{FE} - I_C$  特性をシミュレーションし、データシートと比較してみよう。データシートは、電流軸が対数目盛なので、I1も対数変化させてみる。

コメント → ;dc I1 0.1uA 100uA 0.1uA  
→ .dc dec I1 0.01uA 300uA 101

0.01uA ~ 300uA まで対数変化させる。  
(一桁100ポイントの計算を設定。)



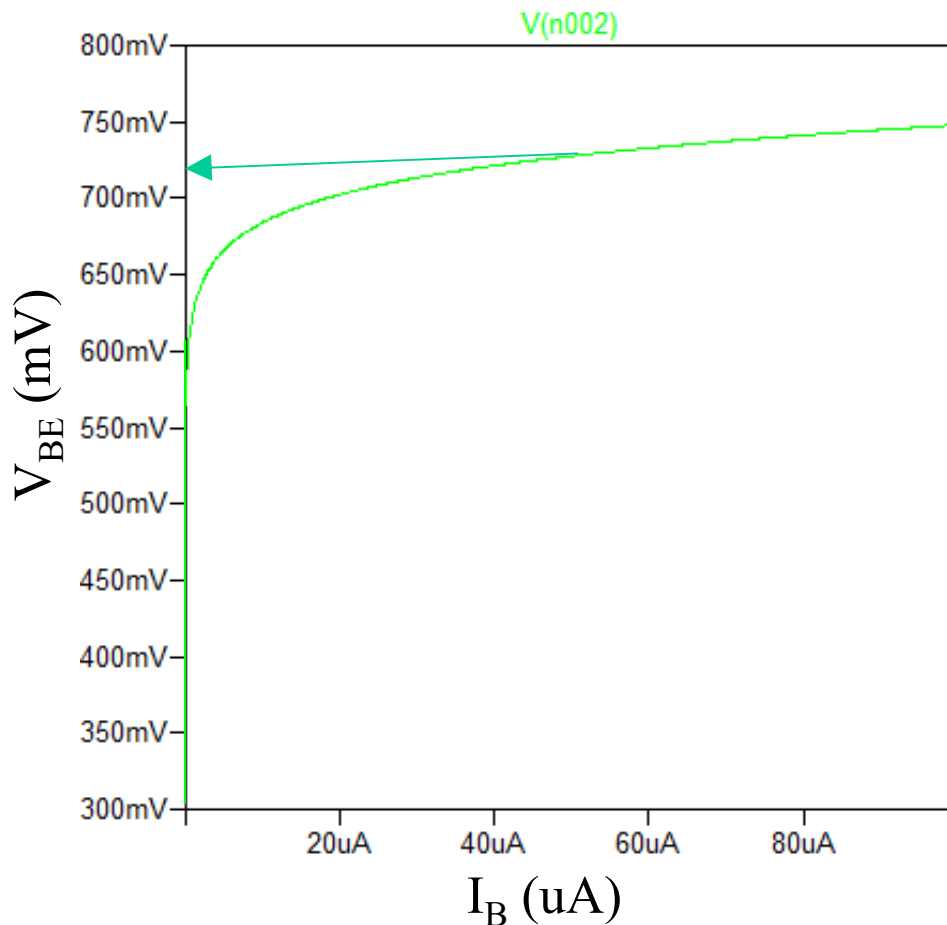
# $h_{FE} - I_C$ 特性



1. グラフウィンドウを右クリック
2. Add Traceを選択
3. Expression to add:欄に  $I_c(Q1)/I_b(Q1)$ を入力して、OKボタン
4. 横軸の数値をクリック
5. Quantity Plotted:欄に  $I_c(Q1)$ を入力、Logarithmicにチェックが入っていることを確認
6. LeftとRightを適切に設定
7. 縦軸の数値をクリック
8. TopとBottomを適切に設定

$h_{FE}$  は  $I_C$  (または  $I_B$ ) に依存。310~260ぐらいまで変化している。データシートでの  $h_{FE} - I_C$  特性よりやや大きめである(特性ばらつきがある)。

# $V_{BE}$ - $I_B$ 特性

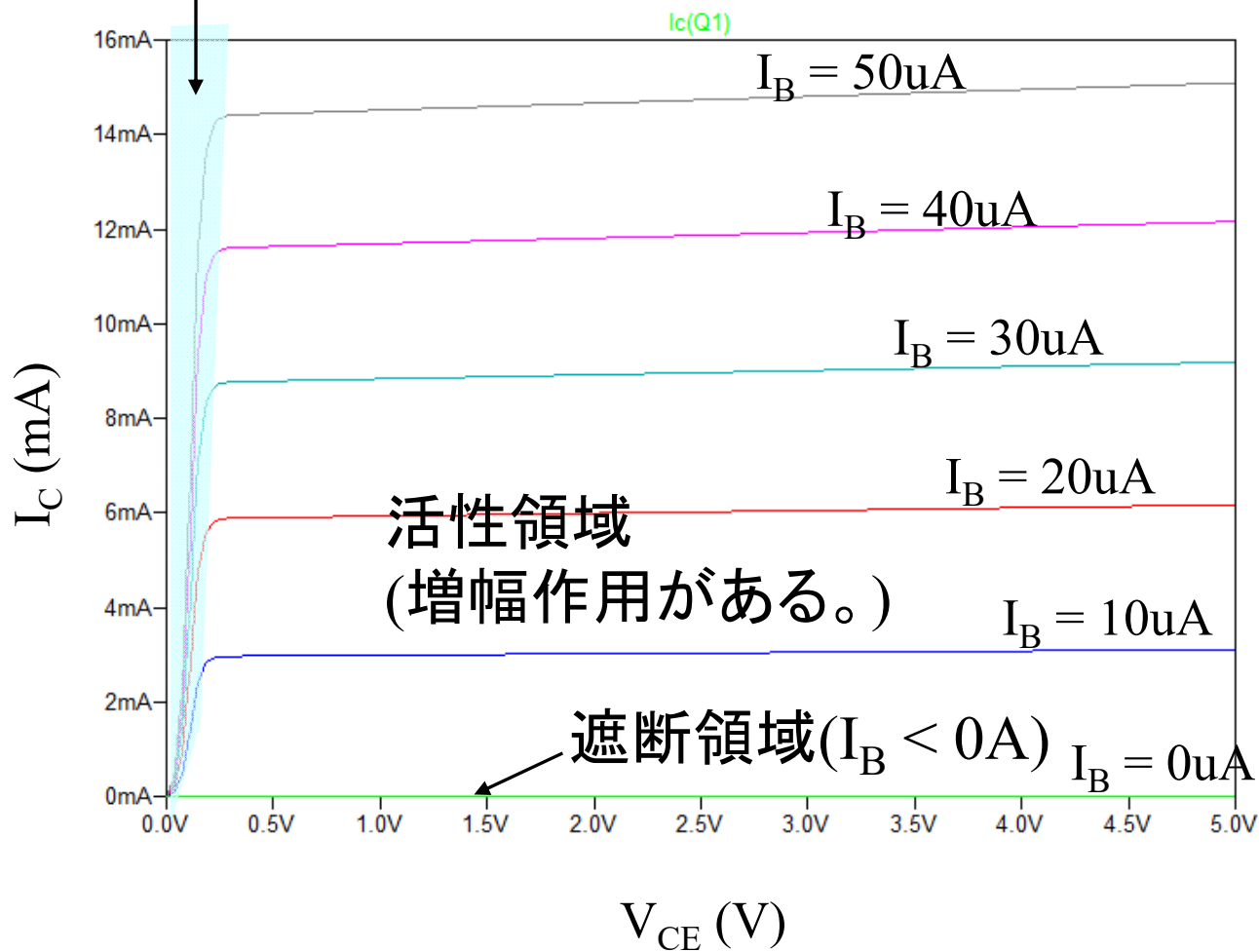


pn接合の順方向特性と同じだが、キャリア(=電子とホールの総称)は、大半がコレクタに行くのでベースの電流値は小さい。

ベース-エミッタ間順方向電流の立ち上がり電圧を $V_{BE} = 0.6V$ (一定)と近似して計算をする場合が多いが、実際は $I_B$ に依存しており、シミュレーション結果では、 $V_{BE} = 0.73V$  ( $I_B = 50\mu A$ のとき)となる。

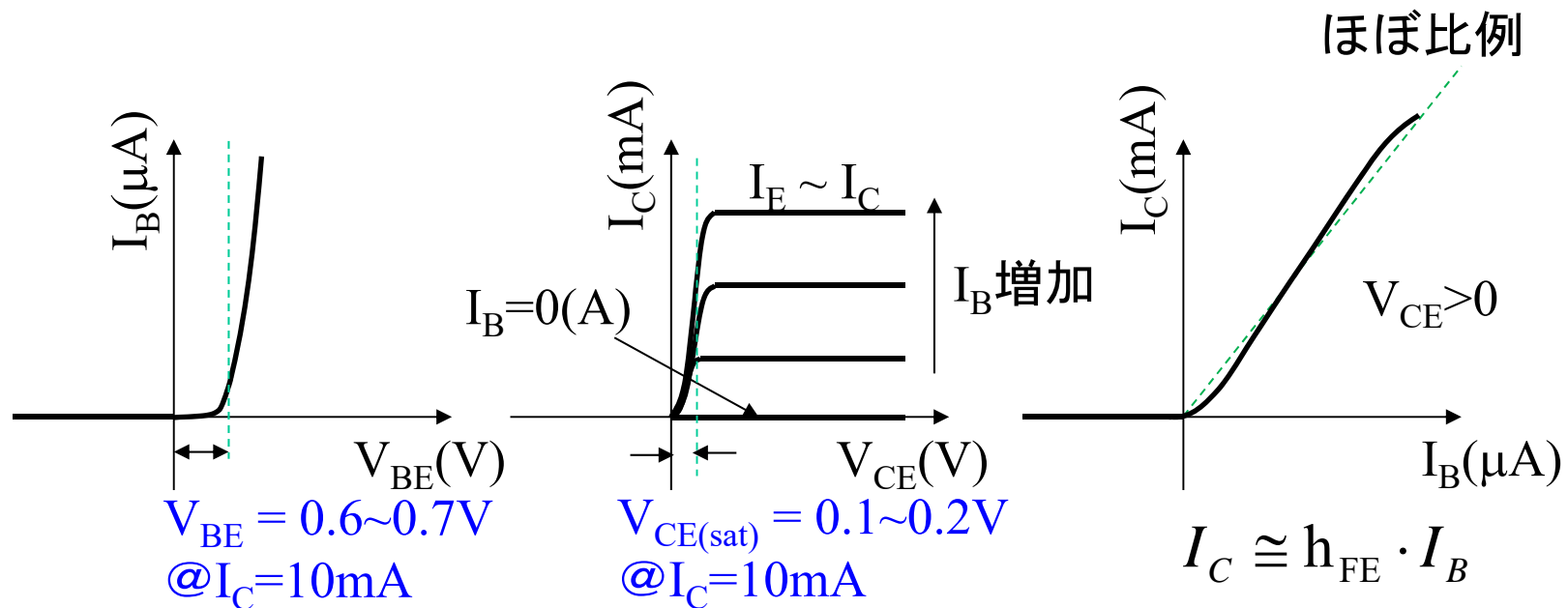
# $I_C - V_{CE}$ 特性

飽和領域 ( $V_{CE} < \sim 0.2V$ )



# エミッタ接地形式での直流特性

npnトランジスタの例



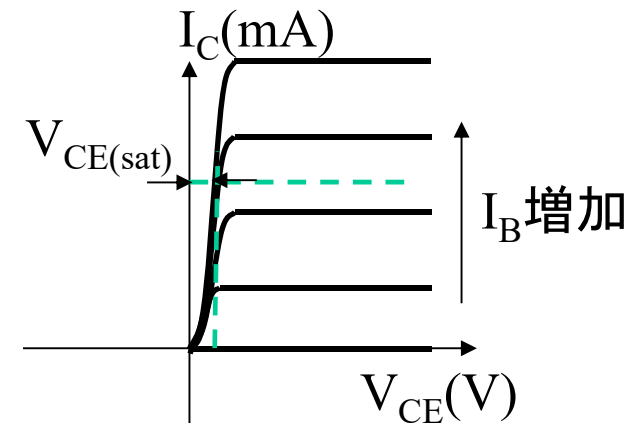
順方向のpn接合とほぼ同じ形となる。  $h_{FE}$  (10~1000): エミッタ接地電流増幅率



# $V_{CE(sat)}$

$V_{CE(sat)}$  は、トランジスタ回路の設計の際によく使用される値である。データシートにも記載されている。

- $V_{CE(sat)}$ :  $I_C$  を一定として  $I_B$  を変えたとき飽和領域となる  $V_{CE}$  の値
  - 半導体メーカーでは、 $I_B$  を増加させても  $I_C$  が増えず、 $I_C/I_B$  の値が十分小さくなる値と解釈して、 $I_C/I_B = 10$  となる  $V_{CE}$  を  $V_{CE(sat)}$  と定義
  - トランジスタが飽和状態 (ON) となる  $V_{CE}$  の目安 (これより低いと飽和)



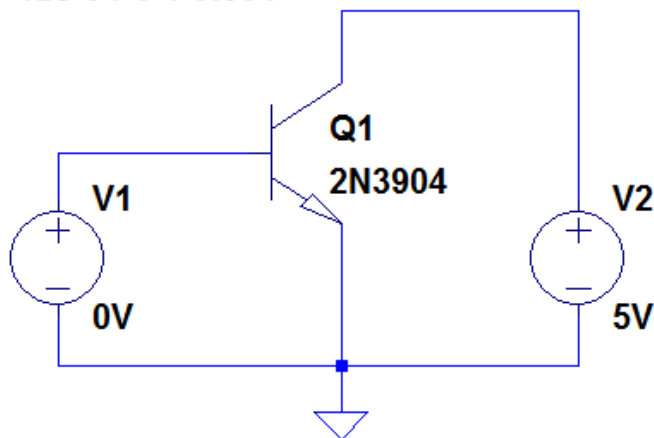
# トランジスタの直流特性測定回路

下記のような、エミッタ接地直流特性の測定回路を作成し、 $I_B$ - $V_{BE}$ 特性と $I_C$ - $V_{CE}$ 特性のグラフを作成せよ。

[参考] 回路シミュレータは、端子に流れ込む電流を正值と表記している。

```
.temp -25 0 25 50 75
```

```
.dc V1 0 1 0.001
```

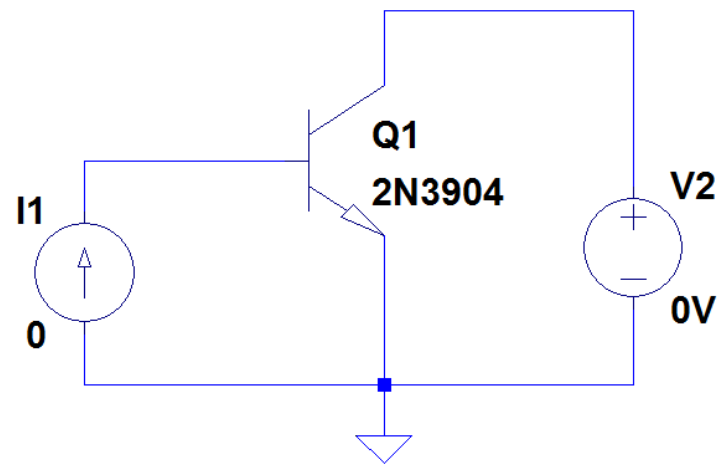


$I_B$ - $V_{BE}$  特性測定回路

横軸  $V_{BE} = 0 \sim 1V$

縦軸  $I_B = 0 \sim 100\mu A$

```
.dc V2 0 5 0.01 I1 0A 100uA 10uA
```



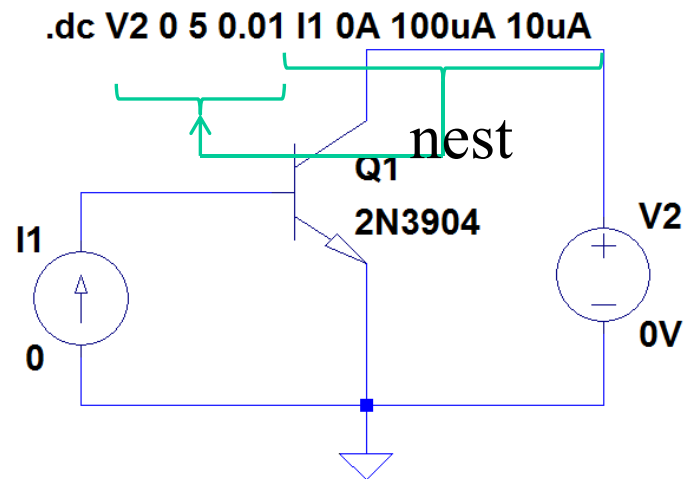
$I_C$ - $V_{CE}$  特性測定回路

横軸  $V_{CE} = 0 \sim 5V$

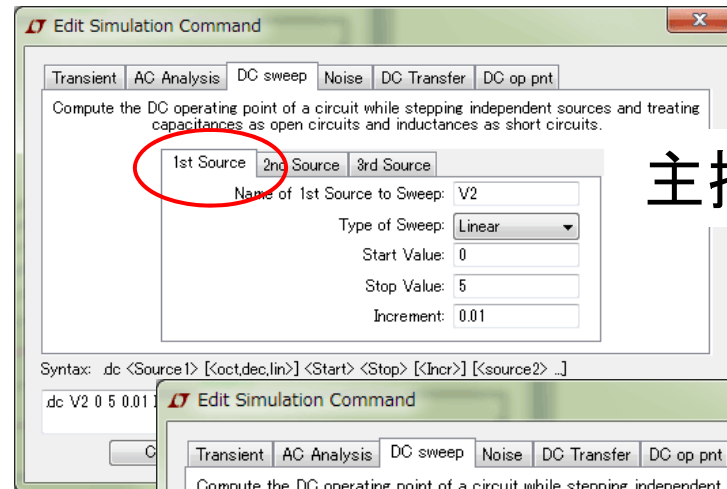
縦軸  $I_C = 0 \sim 30mA$

# .dcコマンドのネスト設定

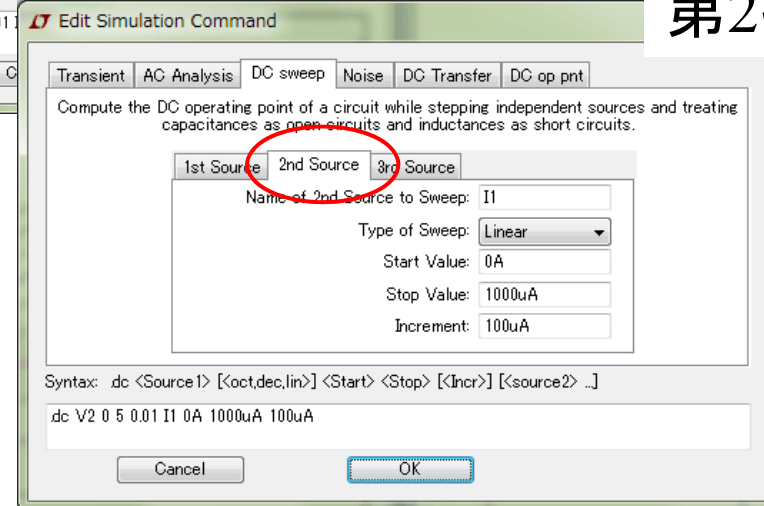
前スライド右側の回路は、.stepコマンドでI1の値を変更することもできるが、電圧源や電流源については、.dcコマンドによる、ネスト掃引が可能である。



I1を変更してV2の掃引を繰り返す。



主掃引



第2掃引

# 課題3.1

1. スライド10のシミュレーションで求めた $I_B$ - $V_{BE}$ 特性と、 $I_C$ - $V_{CE}$ 特性のグラフをレポートに貼り付けて提出せよ
2.  $I_B$ - $V_{BE}$ 特性の $I_B = 100\mu\text{A}$ におけるベース-エミッタ間電圧 $V_{BE}$ は、温度とともにどのように変化するか説明せよ
3.  $-25^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$ ,  $75^\circ\text{C}$  での $h_{FE}$ - $I_C$  特性のシミュレーションを行い、グラフをレポートに貼り付けて提出せよ
4. 温度が上昇すると $h_{FE}$ - $I_C$  特性はどのように変化するか説明せよ

# 3.1節のまとめ

- $I_C$ - $I_B$  特性
  - ほぼ比例関係
  - 比例係数は、エミッタ接地電流増幅率と呼ばれ、 $h_{FE}$  または  $\beta_0$  と表記される
  - $h_{FE}$  は強い温度依存性を持つ
- $I_B$ - $V_{BE}$  特性
  - pn接合ダイオードとほぼ同じ特性
  - $I_B$ - $V_{BE}$  特性は、温度によって大きく変化し、あるベース電流における順方向電圧は、温度上昇により低下する
- $I_C$ - $V_{CE}$  特性
  - 飽和領域、活性領域、遮断領域に分かれる
  - 活性領域では、 $I_C$  は  $V_{CE}$  依存性が弱く、ほぼ  $I_B$  で決定される
  - 増幅作用(電流制御機能)は活性領域で現れる
  - $V_{CE} < V_{CE(sat)}$  の場合は飽和領域、 $I_B < 0$  のときは遮断領域になる